

理科における学習者の相互作用の分析

松 原 道 男

An Analysis of Students' Interaction in Science Learning

Michio MATSUBARA

I はじめに

人間の認識は、内的な構成によるものとして独立させてとらえるのではなく、外界とのつながりからとらえていくことの重要性が指摘されている。特に、状況論では周りの環境、コンテキスト、道具といったものとの相互作用に基づいて認識が成立すると考える¹⁾。このような状況との相互作用は、知覚レベルにおいても指摘されている²⁾。また、ピアジェが指摘した状況に依存しない論理的操作に対して、それを否定する考え方が主張されている³⁾。さらに、情報処理理論においても、人間の認識を内的な構成によってのみ考える人工知能の開発では、限界があることが指摘されている。そして、人間の内的側面とその外界としての環境を、連続したものとしてとらえていくことが提唱されている⁴⁾。

この人間と環境とのつながりについて、宮田⁵⁾は、学習は自分と世界の間には存在するつながりを発見し、実現する過程であるとみている。そして、より大きな安定した循環をつくり出すことが、学習において重要であることを指摘している。さらに、宮田は、このつながりを学習のメカニズムの中心においた理論的枠組みとして、コネクショニズムの考え方をあげている。コネクショニズムのモデルであるニューラルネットワークは、ユニット間のつながりと、そのつながりの変化によって情報を処理していく考え方である。これまでのニューラルネットワークのモデルは、個人における認識に応用された

ものが多い。これを社会的な人間関係に発展させたものにソシオン (SOCION)⁶⁾がある。ソシオンでは、おもに人間の感情的なつながりが表現され分析されている。本研究では、これを参考にしながら、自然認識の側面に应用することを考えた。

特に、クラス全体で考えや意見を交流する子どもの相互作用は、個人間の相互作用がどう全体に影響し、また、全体の状態が個人にどう影響するかといったシステムのダイナミズムをとらえる必要がある。しかし、これまでの研究におけるシステムの部分を分析するとらえ方では、全体をとらえることが困難となり、全体を分析するとらえ方では、部分をとらえることが困難になることが多い⁷⁾。本研究では、ニューラルネットワークのモデルにより、このような点も考慮しながら、相互作用の分析を行うことを考えた。

II 研究の目的

以上のことから、本研究では、まずモデルの確立のために、クラス全体といった大きなシステムでなく、グループといった小さなシステムの中での自然認識に着目し、学習者の相互作用を表現していくネットワークのモデルを開発していくことを目的とした。

III 調査

1. 調査問題

調査は、図1に示した質問紙調査で、実物を提示しながら行うものである。内容は、まず、同じ乾電池(単1乾電池3個直列)を用いて、明るくつく豆電球Aと暗くつく豆電球Bを示す。そして、手回し発電機を用いて、それぞれの豆電球を明るくするとどちらの手ごたえが重いか、あるいは同じかを問う。回答は、答えと答えに対する自信を7段階の尺度によって答えるものである。4人を1グループとし、まず問題を提示し回答させた後、グループの中で討論を行い、討論後に同じ問題に回答させた。討論は、20分程度である。

ここで用いた豆電球Aは6.3V-0.15A、豆電球Bは29V-0.04Aである。実際の手ごたえは、豆電球Aの方が重いと感じることができる。

問題						
A: 明るい豆電球 B: 暗い豆電球						
(問1) 手回し発電機は、						
1. Aのほうが手ごたえが重い						
2. Bのほうが手ごたえが重い						
3. AとBは同じ手ごたえ						
(問2) 問1の答えに対する自信						
ほとんど 自信がない	あまり 自信がない	まあまあ 自信がある	かなり 自信がある			
1	2	3	4	5	6	7

図1 調査問題

2. 調査対象

調査対象は、金沢大学教育学部の3年生、4年生である。調査は、1グループ4人とし、3グループ(G1~G3)、計12人を対象に行った。

3. 調査結果

各学生の回答結果をまとめたのが表1である。討論前において回答は分かれているが、討論後は、選択肢3の「AとBは同じ手ごたえ」という回答が、12人中10人と多くなる傾向にあった。

討論後の自信については、討論前より高まる学生は7人、低くなる学生は3人、変わらない学生は2人と、自信が高まる学生がやや多い傾向にあった。

表1 回答結果

※数字は選択肢の番号を示す

グループ	学生	討論前		討論後	
		答	自信	答	自信
G1	A1	2	3	2	4
	B1	2	5	2	4
	C1	3	4	3	5
	D1	3	2	3	2
G2	A2	2	4	3	7
	B2	2	3	3	5
	C2	3	5	3	6
	D2	3	3	3	2
G3	A3	3	2	3	5
	B3	1	4	3	6
	C3	1	5	3	3
	D3	1	5	3	5

IV モデルによる分析

1. モデルの概要

モデルは、1グループについて1つのモデルを作成する。モデルの構造は、図2に示したように1人の学生を1つのユニットとし、4つのユニットが相互に連結したネットワーク構造である。各ユニットの連結部分には荷重がかかる。ユニットAから他のユニットへの荷重は、ユニットAに対応した学生の答えと答えに対する自信を反映させたものである。したがって、ユニットAから他のユニットへの荷重はすべて同じである。一方、他のユニットからユニットAへの荷重はそれぞれ異なる。荷重の変化は、後に

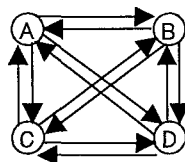


図2 モデルの構造

述べるように、2つの規則によって変化させることを考えた。

2. 初期における荷重の設定

初期の荷重については、まず自信の選択肢の番号 (L) 1から7を用い、荷重の基本となる量 (H) を式1に示したシグモイド関数によって求めた。

$$H = (1 / (1 + \exp(((L+1) / 2 - 2.5) \cdot -1))) \quad \cdots \text{式1}$$

式1では、自信が大きいほど H は1に近づき、自信が小さいほど0に近づく。この H をもとに、荷重は答えの選択肢の数にあわせて3次元で示すことを考えた。つまり、学生が選んだ答えに対応した荷重をプラス、選ばない答えに対応した荷重をマイナスの値で示した。たとえば、答えに選択肢2「Bの方が手ごたえが重い」を選び、自信は選択肢3「あまり自信がない」を選んだ場合、荷重 (W) は次のようになる。

$$W = (-0.378, 0.378, -0.378)$$

以上のことをもとに、表2の「荷重」の欄に、グループG1の学生A1からD1の初期の荷重を示した。荷重の3つの量のそれぞれを、ここでは荷重要素という言葉を用いることにする。

荷重要素を記号 F で示すと、たとえばユニットAの荷重 W_A は、次のように示される。

$$W_A = (F_1, F_2, F_3) = (-0.378, 0.378, -0.378)$$

3. エネルギー

表2に示した各ユニットの荷重から、お互いの差を求めた。その結果を同じく表2の「エネルギー」の欄に示した。この荷重差の絶対値を合計したものが、そのユニットのエネルギーであり、表2の「合計」の欄に示した。システム全体のエネルギーは、各ユニットのエネルギーの総和である。この総和が大きければシステム全体のエネルギーが高いといえる。グループにおいて、各学生の回答および自信がそれぞれ異なる場合は、エネルギーは高くなる。すべての回答が同じで、自信も同じであれば、初期のエネルギーの総和は0となる。いいかえれば、エネルギーが大きければ、ユニット間の意見が異なっており、相互作用が活発になると考えられる。なお、表2の「小計」は、各ユニットの荷重要素の和であり、それを平均した値を「平均」に示している。これは、次に示す荷重変化で必要となる値である。

表2 グループG1の初期における荷重とエネルギー (*は自信)

荷重	A1			B1			C1			D1		
A1	0.378*			-0.378	0.378	-0.378	-0.378	0.378	-0.378	-0.378	0.378	-0.378
B1	-0.622	0.622	-0.622	0.622*			-0.622	0.622	-0.622	-0.622	0.622	-0.622
C1	-0.500	-0.500	0.500	-0.500	-0.500	0.500	0.500*			-0.500	-0.500	0.500
D1	-0.269	-0.269	0.269	-0.269	-0.269	0.269	-0.269	-0.269	0.269	0.269*		
エネルギー	A1			B1			C1			D1		
A1	-			-0.245	0.245	-0.245	-0.122	-0.878	0.878	0.109	-0.646	0.646
B1	0.245	-0.245	0.245	-			0.122	-1.122	1.122	0.354	-0.891	0.891
C1	0.122	0.878	-0.878	-0.122	1.122	-1.122	-			0.231	0.231	-0.231
D1	-0.109	0.646	-0.646	-0.354	0.891	-0.891	-0.231	-0.231	0.231	-		
小計	0.259	1.279	-1.279	-0.721	2.259	-2.259	-0.231	-2.231	2.231	0.693	-1.307	1.307
平均	0.086	0.426	-0.426	-0.240	0.753	-0.753	-0.077	-0.744	0.744	0.231	-0.436	0.436
合計	4.014			5.238			4.938			4.231		

4. 荷重変化の概要

モデルによる荷重の変化は、相互作用によって自分の自信や答えを変化させることに対応する。荷重の変化は、三宅⁸⁾のインタラクションの研究やソシオンを参考に、次の2つの規則によると考えた。

①R1:自分の自信を増加させる変化。

②R2:他との考えの差を小さくさせる変化。

R1は、相互作用の中で自分の答えに対する自信を高めたいという働きである。R2は、他との荷重差を少なくし、他との考えを一致させ協調していくとともに、他からの評価を高めたいという働きである。エネルギーでいえば、エネルギーを低くする変化である。R1とR2はお互いが同調する場合もあるが拮抗する場合もある。各ユニットは、ユニットによってR1を優先するか、R2を優先するか異なると考えた。これは、個人によって、自信を高めたいという場合と、他との考えを一致させたいという場合があると考えたからである。どちらをより優先させるかについては、一定の比率を設けた。ここでは優先する方を0.8、優先しないほうを0.2の比率で変化させることを考えた。

5. 自信に関する荷重変化

自信を優先する場合の荷重変化は、その答えに対応した荷重要素の値を大きくすることを考えた。たとえば表2のユニットAの荷重、 $W = (-0.378, 0.378, -0.378)$ の場合、0.378の値を増加させることを考えた。その際、この値が1に近い場合は増加量を小さくするとともに、優先する方を0.8、優先しないほうを0.2の割合で変化させるため0.8倍し、さらに、それに変化係数 α をかけて荷重変化とした。この変化量(Δ)を式にすると次のようになる。

$$\Delta F_2 = (1 - 0.378) \cdot 0.378 \cdot 0.8 \cdot \alpha$$

一般的には、答に対応する荷重要素を F_i とすると、式2のようになる。

$$\Delta F_i = (1 - F_i) \cdot F_i \cdot 0.8 \cdot \alpha \quad \cdots \text{式2}$$

エネルギーを優先する場合は、自信の変化は

式2の0.8が0.2になる。変化係数 α は、そのグループ内で一定であり、グループ内での各ユニットの影響の強さを示すものである。これは、グループを構成する学習者がお互いに影響を受けやすい場合と、影響を受けにくい場合があることに対応する。なお、荷重要素の値が1以上になった場合は1とし、-1以下になった場合は-1とした。

6. エネルギーに関する荷重変化

エネルギーを優先する場合の荷重変化について、ユニットAを例にあげて説明する。この場合、荷重は荷重差の小計の平均に対応させて、変化させることを考えた。ユニットAの小計の平均を E_A とすると、 E_A は表2より次のようになる。

$$E_A = (E_1, E_2, E_3) = (0.086, 0.426, -0.426)$$

ここで E_1, E_2 は正の値で、 E_3 は負の値であることから、ユニットAの荷重要素 F_1, F_2 の値を小さくし、 F_3 の値を大きくすれば、エネルギーを小さくすることができる。このことを前提として、荷重差の平均をもとに、その比率に対応させて変化させることを考えた。つまり、

$$|\Delta E_1| : |\Delta E_2| : |\Delta E_3| = |E_1| : |E_2| : |E_3|$$

また、ユニットの荷重要素の値が1に近い場合は、増加量を小さくするとともに、エネルギーを優先する方を0.8、優先しないほうを0.2の割合で変化させ、さらに、それに変化係数 α をかけて荷重変化とした。以上をまとめると、式3のようになる。

$$\Delta F_n = (1 - F_n) \cdot (E_n / (|E_1| + |E_2| + |E_3|)) \cdot 0.8 \cdots \text{式3}$$

自信を優先する場合の変化は、式3の0.8が0.2になる。

7. 荷重変化後の自信と答え

荷重変化によって、初期の自信が変化することになる。変化した各ユニットの自信(S)は、式4に示したように、各ユニットの荷重要素の絶対値を平均したものと考えた。

$$S = \sum_i |F_i| / n$$

…式 4

V モデルによる分析結果

また、答えについては、荷重要素のプラス、マイナスが逆転する場合がある。荷重要素がプラスで、それが複数の場合は、より大きい値の荷重要素に対応した選択肢が答えになると考えた。また、そのときの自信は、荷重要素の小さいほうのプラスの値は、加算せず減じることにした。

8. 荷重変化における各係数の設定

荷重変化は、ユニットをランダムに1つ抽出し、そのユニットの荷重を変化させることによって行う。そして、このことを100回繰り返した。その際、討論後の答えや答えに対する自信に対応させて、自信を優先させるか、エネルギーを優先させるか、各ユニットについて設定を行った。どちらを優先するかについては、両方の場合もあると考えられる。それについては、どちらを優先するか、そのユニットが抽出されるごとに、1/2の確率で選ばれるように設定した。また、変化係数 α についても、討論後の回答や回答に対する自信に対応させて設定した。以上のように、実際の学生の回答と一致するようにシミュレーションを行いながら、係数を設定した。

以上のようにして、各係数を求めた結果が表3である。自信のエネルギーのどちらを優先させるかについては、学生によって異なっている。各グループの変化係数については、グループG1は、他のグループの10分の1程度であり、お互いの影響が小さいと考えられる。一方、G2、G3のグループは、それに比べてお互いの影響が大きいと考えられる。

表3 優先および変化係数

R: 自信優先 E: エネルギー優先 RE 両方

グループ	学生	優先	変化係数
G1	A1	R	0.02
	B1	E	
	C1	R	
	D1	RE	
G2	A2	E	0.20
	B2	E	
	C2	R	
	D2	RE	
G3	A3	R	0.30
	B3	E	
	C3	E	
	D3	E	

表4 グループG1の討論後の荷重とエネルギー（*は自信）

荷重	A1			B1			C1			D1		
A1	0.478*			-0.388	0.733	-0.312	-0.388	0.733	-0.312	-0.388	0.733	-0.312
B1	-0.583	0.580	-0.455	0.539*			-0.583	0.580	-0.455	-0.583	0.580	-0.455
C1	-0.496	-0.458	0.725	-0.496	-0.458	0.725	0.560*			-0.496	-0.458	0.725
D1	-0.331	-0.108	0.455	-0.331	-0.108	0.455	-0.331	-0.108	0.455		0.298*	
エネルギー	A1			B1			C1			D1		
A1	-			-0.195	-0.153	-0.143	-0.108	-1.191	1.036	0.057	-0.840	0.767
B1	0.195	0.153	0.143	-			0.086	-1.038	1.180	0.252	-0.687	0.910
C1	0.108	1.191	-1.036	-0.086	1.038	-1.180	-			0.165	0.351	-0.270
D1	-0.057	0.840	-0.767	-0.252	0.687	-0.910	-0.165	-0.351	0.270	-		
小計	0.246	2.184	-1.660	-0.533	1.573	-2.233	-0.187	-2.581	2.486	0.474	-1.177	1.406
平均	0.082	0.728	-0.553	-0.178	0.524	-0.744	-0.062	-0.860	0.829	0.158	-0.392	0.469
合計	4.490			4.644			5.427			4.299		

グループG1の討論後の荷重とエネルギーについて示したのが、表4である。表2と表4から、G1のモデルにおける初期の自信と討論後の自信を比較して示したのが、表5である。表

表5 グループG1の自信の変化

自信	A1	B1	C1	D1
討論後	0.478	0.539	0.560	0.298
討論前	0.378	0.622	0.500	0.269
差	0.100	-0.083	0.060	0.029

表6 シミュレーションにおける一致結果

(○一致 ×不一致 △場合によって一致)

グループ	学生	答え	自信
G1	A1	○	○
	B1	○	○
	C1	○	○
	D1	○	○
G2	A2	○	○
	B2	○	○
	C2	○	○
	D2	○	×
G3	A3	○	○
	B3	○	○
	C3	○	○
	D3	○	△

1に示した学生の実際の回答結果と比較すると、A1とC1は自信が高くなるが、B1は低くなり、D1はあまり変わらない。この結果は、学生の実際の回答結果と一致しているといえる。各グループにおいて、実際の回答とシミュレーションにおける結果との一致について示したのが、表6である。答えについては、3つのグループとも一致した。しかし、自信については、一部一致しない場合があった。それは、討論後において学生D2の自信は低くなるが、シミュレーションでは高くなることであった。また、学生D3の自信は変わらないが、シミュレーションにおいては、自信が低くなる場合があることであった。その他の学生については、答えの変化も自信の変化も一致していた。

図3には、シミュレーションにおいて答えが変わった学生A2（グループG2）の荷重変化と自信の変化を示した。図3の「X」のところまでは、答えが「Bの手ごたえが重い」であるが、「X」後は荷重の正の値が2つになり、答えが「Bの手ごたえが重い」と「同じ」の2つの可能性がでてくる。そして、「Y」のところで、両者の荷重の大小が逆転し、答えが「同じ」に変更される。さらに、「Z」のところで荷重の正の値が1つとなり、答えが「同じ」に確定

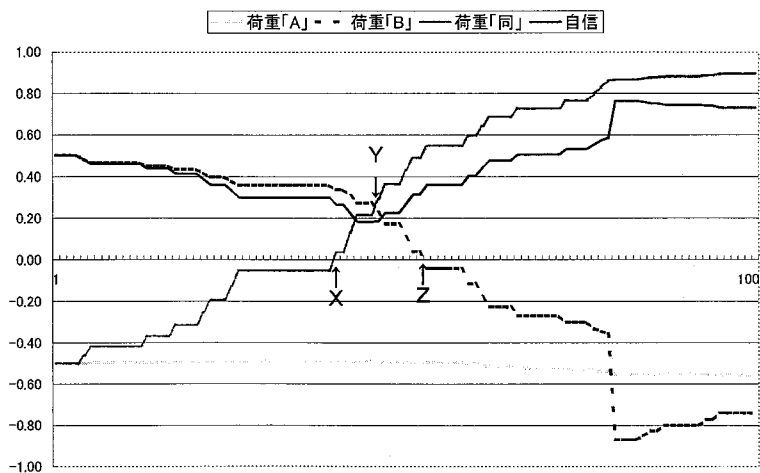


図3 学生A2（グループG2）の荷重変化および自信の変化

されるようになる。自信の変化は、答えが逆転する「Y」のところまでは下降し、「Y」以降は上昇する変化となっている。

Ⅶ 考察

本研究においては、学生の相互作用における答えおよび答えに関する自信の変化をもとに、相互作用を表現していくモデルの開発を行うことを目的とした。そのモデルは、ニューラルネットワークにおける考え方を参考に、各ユニットの荷重変化の規則によって、システム全体の変化をとらえていくものであった。荷重変化の規則については、自信を増加させる変化と、お互いの考えの差を小さくさせる変化の2つの点から行った。その結果、学生の答えについての変化は全てにおいて一致させることができた。また、自信の変化については、一部を除き一致させることができた。以上のことから、モデルはおおよそ学生の回答とその自信、および相互作用におけるそれらの変化を表現していると判断でき、妥当性が認められるものと考えられる。

今後、モデルの妥当性を高めていく必要はあるが、本研究の結果から、本研究におけるモデルは、相互作用を分析するためのいくつかの観点を与えるものであると考えられる。その観点は次のものである。一つ目として、システム全体のエネルギーの状態、つまり、全体として考えが一致しているか、対立しているかといった全体の状態を分析する観点を与えると考えられる。これは、活発な討論になるかどうかに関わるものである。二つ目として、各個人が自信を高める変化か、他との考えを一致させる変化かを分析する観点を与えると考えられる。三つ目として、相互作用の影響の度合いについて分析する観点を与えると考えられる。それは、相互作用によって、お互いが影響を受けやすい集団か受けにくい集団かを示すものである。

以上の分析の観点から、学習における利用については次のことが考えられる。学習において

は、どのような相互作用がよいかというのは一概にいえない。それは、システムの状態と学習目標によって、異なってくると考えられる。このことを踏まえて、相互作用前については、まず、そのシステムのエネルギーの状態を明らかにすることができる。その学習において、活発な討論が望まれる場合、エネルギーが高ければその可能性が大きくなる。しかし、エネルギーが高いのにもかかわらず、活発な相互作用が行われないとすれば、その集団の相互作用のあり方について検討する必要があるか、活発な相互作用を行うためのきっかけをつくる必要があるとなる。また、エネルギーが低い場合には考えが集約するため、他の考えを教師側から導入していく工夫などが必要となる。さらに、相互作用前では、システム全体がどの方向に展開していくかなど、いくつかの係数を設定してシミュレーションし、予測することができる。それが、学習において望ましければ、その方向性を促進していくように進めることが考えられる。

相互作用後のモデルの利用については、相互作用の影響の度合いや、 R_1 、 R_2 の個人の優先のタイプを明らかにすることができる。このことにより、各個人の影響がどのように全体に反映してきたかを分析することができる。たとえば、その中で、ある1人の子どもの影響が常に全体に対して大きければ、その子どもの影響だけが全体に反映しないようなクラス作りも必要になると考えられる。以上のように、モデルは、相互作用を分析する一つの観点として、役立てていけると考えられる。

今回は小グループを対象にモデルを作成したが、ネットワークのユニット数を増やしても R_1 や R_2 の決まりは適用できることから、今後はクラス単位での相互作用についてもモデルを応用していくことが考えられる。また、答えが選択肢の中にあるのではなく、未知の答えを協力して導き出していくような相互作用も考えられる。これらについての表現のあり方も、今後発展させて考えていく必要がある。

参考文献

- 1) 上野直樹：「仕事の中での学習」，1999，東京大学出版会
- 2) Gibson, J. J., 古崎敬他訳：「ギブソン生態学的視覚論」，1985，サイエンス社
- 3) 塚野弘明：「推論と活動の文脈」，佐伯胖・佐々木正人編：「アクティブ・マインド」，1990，東京大学出版会，261-288
- 4) 田村浩一郎：「情報処理パラダイム論序説」，1997，森北出版
- 5) 宮田義郎「コネクションとしての学習」波多野諠余夫編「認知心理学5 学習と発達」，1996，東京大学出版会，87-119
- 6) 藤澤等：「ソシオン理論のコア」，1997，北大路書房
- 7) 守一雄：「やさしいPDPモデルの話」，1996，新曜社，13-22
- 8) 三宅なほみ：「理解におけるインターラクショントは何か」，佐伯胖編：「認知科学選書4 理解とは何か」，1985，東京大学出版会，69-98